

УДК 621.316.722.076.12

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Коновалов М.А.

Научный руководитель – профессор Крюков А.В.

Иркутский государственный университет путей сообщения

Двухполупериодный выпрямитель электроподвижного состава (ЭПС) переменного тока является потребителем реактивной мощности (РМ) значительной величины. Потребление РМ определяется процессом коммутации тока в вентилях, искажением кривой первичного тока, углом регулирования управляемых вентилей, намагничивающим током трансформатора.

Основная гармоника тока смещается от напряжения в сторону отставания. Сдвиг фаз основных гармоник напряжения U и тока I определяется углом φ , с ростом которого растёт потребление РМ $Q=U \times I \times \sin \varphi$.

Потребление РМ в режиме тяги ЭПС составляет 70 – 90 % от потреблённой активной мощности ($\operatorname{tg} \varphi = 0,75 - 0,9$; $\varphi = 37 - 42$ эл. гр.). При $\varphi = 37$ эл.гр. – режим тяги для диодных ЭПС и $\varphi = 42$ гр.эл. – режим тяги для тиристорных ЭПС.

Потребление РМ ЭПС в режиме рекуперации составляет 130 – 170 % от генерируемой активной мощности ($\operatorname{tg} \varphi = 1,3 - 1,7$; $\varphi = 52,4 - 59,5$ эл. гр.). Следует считать, для ЭПС в режиме рекуперации реактивное электропотребление в 1,5 раза больше, чем генерируемая активная мощность.

При совместной работе в МПЗ ЭПС в режимах тяги и рекуперации приводит к значительному увеличению реактивного электропотребления.

Потребление РМ приводит к следующим отрицательным явлениям:

1. К увеличению тока в сети:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U} = \frac{P}{Q} \times \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}. \quad (1)$$

2. Увеличение потерь активной мощности:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \times R = \frac{P^2}{U^2} \times R \times (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi). \quad (2)$$

3. Увеличение стоимости электроэнергии за счёт платы за реактивную энергию.

Стоимость реактивной электроэнергии, превышающей экономическое значение, равна (8 – 10)% стоимости активной энергии.

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2020 г., «Энергетической стратегией железнодорожного транспорта на период до 2010 г. и на перспективу до 2020 г.» на одно из первых мест по значимости выдвигаются вопросы внедрения энергосберегающих технологий. Одним из способов снижения расхода электрической энергии на тягу поездов является равномерное распределение тяговой нагрузки по смежным подстанциям.

Система тягового (СТЭ) и внешнего (СВЭ) электроснабжения участка Саянская – Крупская южного хода Красноярской железной дороги имеет свои особенности. Тяговые подстанции участка транзитные и подключены к одноцепной линии электропередачи (ЛЭП) 220 кВ, которая строилась только для СТЭ, идущей от районной подстанции Абакан к тяговой подстанции Саянская. По данной ЛЭП 220 кВ СВЭ осуществляет транзит мощности от источника практически неограниченной мощности. Нали-

чие большого транзита мощности приводит к появлению уравнивающих токов в тяговой сети данного участка СТЭ. Ограничивающим фактором транзита по ЛЭП-220 кВ является реактивная составляющая мощности.

В связи с аварией на Саяно-Шушенской ГЭС регион потерял генерирующие мощности и более 80 % электрической энергии стало передаваться по ЛЭП 500 кВ Новокузнецкая – СШГЭС и Итатская – Абаканская от питающих центров Кемеровской области и Красноярского края. Удалённость источников электроэнергии составляет несколько сотен километров и обуславливает при её передаче высокие потери активной и реактивной мощности. Вследствие этого существует риск падения уровня напряжения, который может привести к ограничению электроснабжения железнодорожного транспорта.

Для решения этой проблемы принято решение на тяговых подстанциях южного хода ввести источники РМ, для компенсации реактивного электропотребления ЭПС. В качестве источника РМ принято решение в департаменте Электрификации и электроснабжения (ЦЭ) использовать устройства фильтрации и компенсации (УФК) РМ производства НИИЭФА-ЭНЕРГО, так называемые установки поперечной компенсации (КУ).

УФК является многофункциональными:

- компенсирует реактивную индуктивную мощность тяговой нагрузки;
- усиливает систему тягового электроснабжения (повышает уровень напряжения в тяговой сети, т.к. УФК на первой гармонике работает как поперечная компенсация);
- снижает потери мощности в контактной сети ($\Delta P_{КС}$, $\Delta Q_{КС}$) и силовых трансформаторах ($\Delta P_{тр.}$, $\Delta Q_{тр.}$) от тягового и уравнивающего токов;
- улучшает качество напряжения, в соответствии с ГОСТом 13109-97 (ослабляет уровень высших гармоник в СТЭ);
- симметрирует токи и напряжения в тяговом трансформаторе питающей сети.

Наибольший эффект в тяговой сети даёт включение КУ в середине МПЗ, при этом:

- уменьшается несимметрия напряжения на стороне районной нагрузки одновременно на двух смежных тяговых подстанциях и в целом по системе;
- устраняется необходимость устанавливать регулируемые КУ, тем самым позволяет избавиться от частых отключений в период максимума нагрузок;
- существенно снижается срок окупаемости устанавливаемых КУ.

КУ, состоящие из конденсаторной батареи (КБ) и реактора, могут располагаться на тяговых подстанциях, постах секционирования, электровозах или перегонах.

В зависимости от характера и соотношения тяговой нагрузки по плечам питания КУ включаются на различные фазы: опережающую (ОП) и отстающую (ОТ) (рисунок 1 а, б, в).

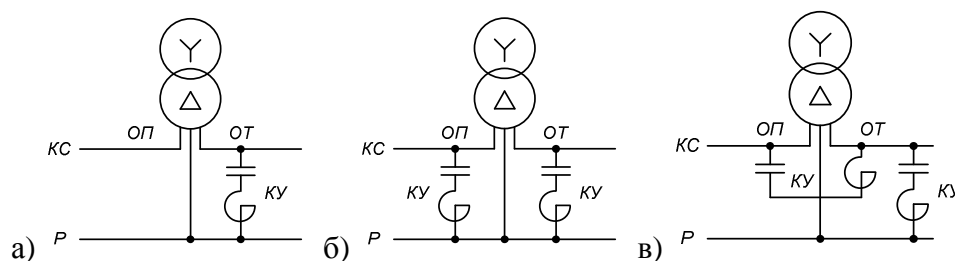


Рисунок 1 – Схемы подключения КУ

Схема замещения и векторная диаграмма тока и напряжения тяговой сети с КУ представлены на рисунке 2.

Эффективность компенсации РМ обеспечивается снижением активных потерь ЭЭ в сети.

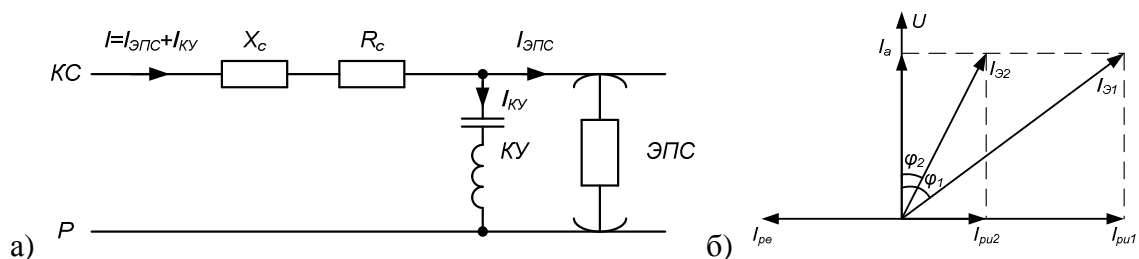


Рисунок 2 – Схема замещения тяговой сети с КУ и ЭПС и векторная диаграмма тока и напряжения:

где а) X_c , R_c – индуктивное и активное сопротивление до КУ; $I_{ЭПС}$ – ток ЭПС; $I_{КУ}$ – ток установки компенсации; U_1 – напряжение у источника; U_2 – напряжение на шинах ТП в месте включения КУ; б) U – напряжение на шинах подстанции; I_a – активный ток; I_{pi1} и I_{pi2} – реактивный индуктивный ток до и после включения КУ; I_{pe} – емкостной ток КУ; ϕ_1 и ϕ_2 – угловые сдвиги между током и напряжением до и после включения КУ.

Проведённый анализ за шесть месяцев электропотребления по данным Красноярского Энергосбыта на тяговой подстанции, где включена УФК показал:

- потребление РМ снизилось примерно в 2 – 2,5 раза, а в некоторые дни ФКУ полностью скомпенсировала потребляемую РМ и сгенерировала часть РМ в энергосистему;
- с момента включения УФК появилась отдача (генерация) РМ в энергосистему в размере примерно 30 – 50 % от потребляемой РМ (рисунок 3);
- значение коэффициента РМ ($\text{tg}\phi$) снизилось с 1,1 до 0,2 – 0,4 (рисунок 4).

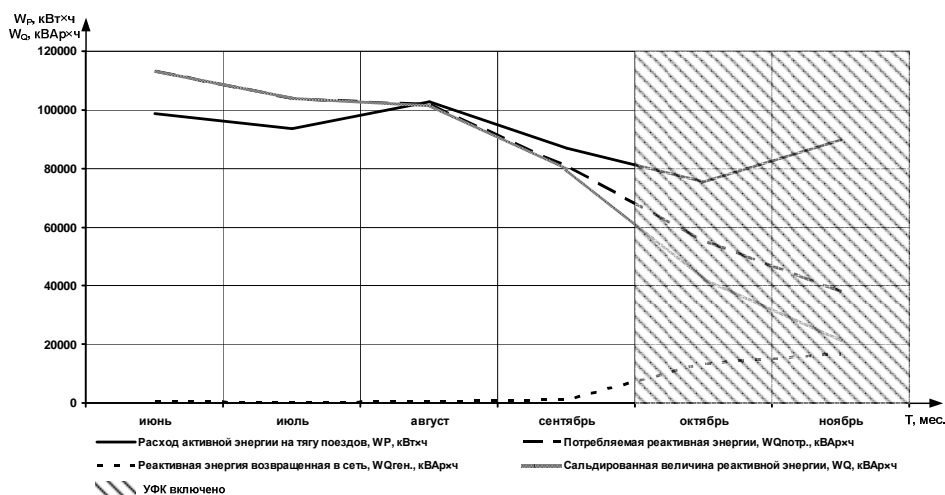


Рисунок 3 – Изменение электропотребления в СТЭ до и после включения УФК

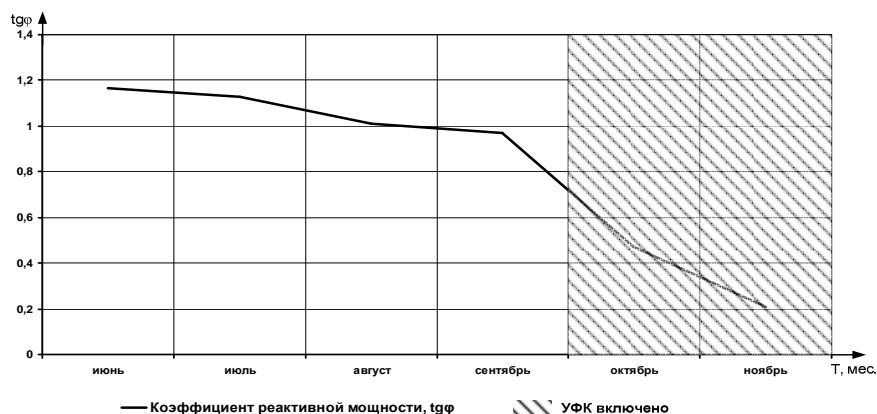


Рисунок 4 – Изменение коэффициента РМ в СТЭ до и после включения УФК

Согласно приказа Министерства промышленности и энергетики № 49 от 22.02.2007 г. «О порядке расчёта значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электроэнергии» предельное значение коэффициента РМ ($\text{tg}\varphi$) для электропотребителей напряжением 6 – 35 кВ равно 0,4.

На рисунке 5 представлены зависимости минимального уровня напряжения на токоприёмнике ЭПС от общей массы поездов, движущихся по участку, при наличии на посту секционирования установки поперечной ёмкостной компенсации номинальной мощностью $Q_{\text{ФКУ}}$. Расчёты проведены в программном комплексе КОРТЭС.

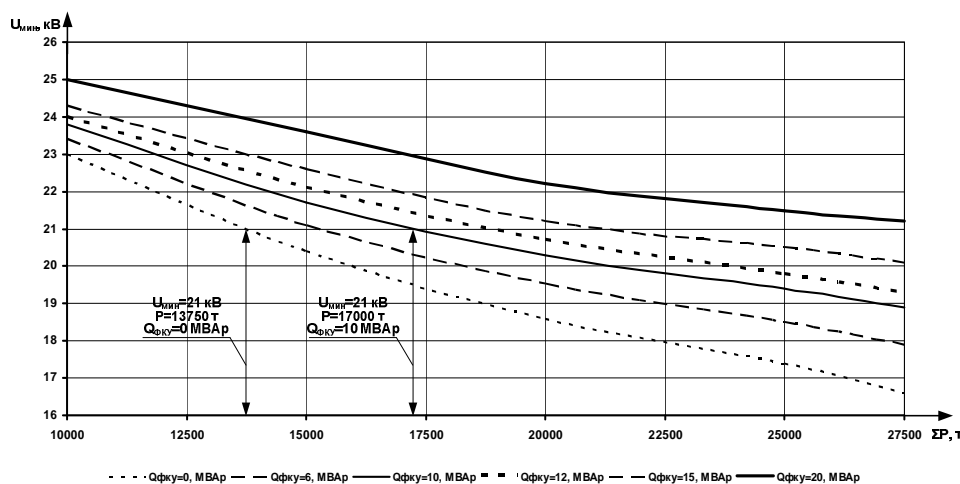


Рисунок 5 – Зависимости уровней напряжения на токоприёмнике ЭПС от общей массы в МПЗ

Обобщённая оценка технической эффективности поперечной компенсации позволяет определить какой мощностью необходимо установить на посту секционирования поперечную компенсацию УФК при заданных суммарных весовых нагрузках пакетов поездов. Например, чтобы увеличить пропускную способность МПЗ с 13750 тонн суммарной весовой нагрузки до 17000 тонн необходимо установить на посту секционирования ФКУ мощностью 10 МВАр.

Проведённые анализ электропотребления и расчёт пропускной способности показали преимущества и эффективность применения устройств поперечной компенсации РМ:

1. Снижена сальдированная величина реактивного электропотребления в 5 раз;
2. Потребляемая реактивная мощность снизилась в 2 – 2,5 раза;
3. Возвращаемая РМ в СВЭ возросла примерно в 80 – 100 раз;
4. Коэффициент РМ снизился примерно в 5 – 6 раз;
5. В зависимости от мощности КУ пропускная способность участка можно увеличить с 13500 до 28000 тонн, т.е. в два раза;
6. В зависимости от мощности применяемой компенсации минимальный уровень напряжения повышается на 0,5 – 4 кВ.